Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 2, Summer. 2020, p. 225-239

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص. ۲۳۹-۲۲۵

مقاله علمی-پژوهشی

اثر تراکم کاشت بر میزان جذب و کارایی مصرف تشعشع ژنوتیپ‌های برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط کشت مستقیم

فرزین پورامیر[1]، بیژن یعقوبی[2]، یاسر علی‌زاده[3*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۷

چکیده

به‌منظور بررسی میزان جذب و کارایی مصرف نور و همچنین تعیین ضریب استهلاک نوری در سه ژنوتیپ برنج در تراکم‌های مختلف کشت مستقیم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۵ تیمار در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور- رشت اجرا شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل پنج تراکم بذر (۶۵، ۸۰، ۹۵، ۱۱۰ و ۱۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار) و سه ژنوتیپ برنج (لاین امید بخش طاهر، رقم آنام و رقم هاشمی) بودند. نتایج نشان دادکه بیشترین عملکرد دانه در رقم طاهر (۶۳۸۰ کیلوگرم در هکتار) و رقم آنام (۶۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار به‌دست آمد ولی بیشترین عملکرد دانه در رقم هاشمی (۵۴۹۰ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار مشاهده شد. در این تحقیق، بیشترین (۳/۰۶ گرم بر مگاژول PAR) و کمترین (۲/۲۰ گرم بر مگاژول PAR) میزان کارایی مصرف نور به‌ترتیب در تراکم‌های ۹۵ و ۱۲۵ کیلوگرم لاین طاهر مشاهده شد. دو ژنوتیپ آنام و طاهر در تراکم ۹۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب با ۷۷۳ و ۸۵۲ مگاژول PAR بر متر مربع و رقم هاشمی در تراکم ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار با ۸۸۰ مگاژول PAR بر متر مربع، بالاترین میزان جذب تشعشع در طول فصل رشد را داشتند. افزایش تراکم تا سطح مطلوب در ارقام برنج باعث افزایش جذب و همچنین کارایی مصرف نور گردید. بین جذب و کارایی نور با عملکرد زیستی و دانه ارقام برنج همبستگی مثبتی مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: رقم هاشمی، سایه‌اندازی، شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی نور

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یک منبع اصلی غذایی در آسیا بوده که ۳۸/۵ درصد سطح زیر کشت و حدود ۴۸ درصد تولید غلات در آسیا را دارد بنابراین بهبود عملکرد این گیاه با استفاده از روش‌های مختلف برای تامین غذای جمعیت روبه رشد بخصوص در قاره آسیا بسیار مهم است (Huang *et al*., 2017). برای دستیابی به این میزان افزایش عملکرد، باید تلاش‌های زیادی در جهت اصلاح ارقام جدید با پتانسیل عملکرد بالاتر انجام شود (Peng *et al*., 2009). به‌طور کلی، خصوصیات مختلفی برای تولید دانه بالاتر در ارقام پر محصول برنج ذکر شده است که برخی از آن‌ها شامل تولید زیست‌توده بیشتر (Wu., 2009)، شاخص سطح برگ بالاتر (Huang *et al*., 2017)، دوام سطح برگ بیشتر (Katsura *et al*., 2008)، پنجه‌زنی بیشتر (Wang *et al*., 2002) و همچنین سرعت فتوسنتزی بالاتر در تک برگ (Wang *et al*., 2006) می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که تقریباً تمامی عوامل موثر بر افزایش عملکرد در گیاه برنج به دلیل افزایش جذب و کارایی مصرف نور می‌باشد (Zhang *et al*., 2009).

در شرایط مطلوب زراعی و بدون هیچ عامل محدودکننده رشد، شیب رگرسیون خطی بین جذب تشعشع تجمعی و بیوماس تولیدی گیاه، کارایی مصرف نور را تعیین می‌کند (Tsubo *et al*., 2001). کسری از تشعشع نوری که توسط گیاه جذب می‌شود در طول رشد گیاه متغیر بوده و به شاخص سطح برگ و آرایش برگ‌های گیاه وابسته است (Zhang *et al*., 2008). اختلاف آرایش برگ‌ها که توسط ضریب استهلاک نوری (K) شرح داده می‌شود به همراه شاخص سطح برگ، اختلاف جذب تشعشع نوری را در شرایط مختلف مشخص می‌کند (Kineri *et al*., 1999). افزایش شاخص سطح برگ امکان جذب نور را افزایش می‌دهد اما هم‌زمان، سایه‌اندازی متقابل برگ‌ها بر روی یکدیگر قابلیت استفاده از نور را کاهش می‌دهد. این عامل موجب کاهش تصاعدی نور می‌گردد که به‌وسیله قانون لامبرت- بیر شرح داده می‌شود (Marcelis *et al*., 1998). یکی از راهکارهای اصلی برای افزایش عملکرد، بهینه‌سازی جذب نور از طریق شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور بیان شده است

۱- استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
۲- دانشیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
(*- نویسنده مسئول: Email: y.alizadeh@ilam.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v18i2.85482

(Awal *et al*., 2006). ارقام جدید برنج از کارایی جذب و مصرف نور بالاتری برخوردار بوده که این موجب عملکردهای بالاتر این ارقام می‌گردد (Liu *et al*., 2019). ژانگ و همکاران (Zhang *et al*., 2009) مشاهده کردند که تولید بیوماس بیشتر در برنج سوپر هیبرید در مقایسه با برنج هیبرید معمولی به دلیل کارایی مصرف نور بالاتر آن بود. در آزمایشی مشابه، هوانگ و همکاران (Huang *et al*., 2016) مشاهده کردند که عملکرد رقم سوپر هیبرید ۱۱ درصد بیشتر از هیبرید معمولی بود. این درحالی بود که شاخص برداشت دو رقم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشت و فقط افزایش بیوماس منجر به این اختلاف شده بود. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که بهبود خصوصیات فتوسنتزی برگ از قبیل محتوای کلروفیل a و آنزیم رابیسکو در برنج سوپر هیبرید منجر به افزایش کارایی مصرف نور و درنتیجه عملکرد آن شده است. همچنین وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2016) یکی از دلایل اصلی کاهش عملکرد برنج در شرایط گرمسیری را کاهش کارایی مصرف نور عنوان کردند. کارایی مصرف نور علاوه بر ژنوتیپ تحت تاثیر مدیریت‌های زراعی نیز قرار می‌گیرد یکی از مدیریت‌هایی که با اثر بر شاخص سطح برگ، میزان جذب و کارایی مصرف نور را تحت تاثیر قرار می‌دهد تراکم کاشت می‌باشد (Holshouser and Wittaker, 2002; Purcell *et al*., 2002). تراکم کاشت با اثر بر شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی برگ و زمان ایجاد پوشش کامل در سطح خاک، میزان جذب نور توسط گیاه و کارایی استفاده از آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Purcell *et al*., 2002). دو عامل ژنوتیپ و تراکم کاشت، بر ضریب استهلاک نوری و شاخص سطح برگ غلات اثر گذاشته و در نتیجه میزان نور جذب شده توسط گیاه را تحت تاثیر قرار داده و می‌تواند بر کارایی نور نیز تاثیرگذار باشد (Gallagher *et al*., 1978; Kiniry *et al*., 1999). تحقیقات زیادی نشان داده‌اند که جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و عملکرد برنج از طریق افزایش تراکم گیاهی افزایش می‌یابد (Chen *et al*., 2019; Lin *et al*., 2009) هر چند با افزایش بی‌رویه تراکم ممکن است نفوذ نور به لایه‌های پایینی کانوپی کاهش یابد که این عمل منجر به پیری زودرس برگ‌های پایینی و درنتیجه کاهش کارایی مصرف نور می‌گردد (Liu *et al*., 2019).

مقدار تشعشع دریافتی توسط گیاهان یکی از عوامل کلیدی برای تولید ماده خشک است که خود تحت تاثیر شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی می‌باشد (Sinclaier, 2006). در مطالعات مختلفی بیان شده است که کارایی مصرف نور در برنج تحت تاثیر ژنوتیپ قرار می‌گیرد (Xu *et al*., 1997; Sanoh *et al*., 2002) و همچنین بیان شده است که در ارقام جدید برنج ضریب خاموشی از ارقام قدیمی‌تر، کوچک‌تر است (Saitoh *et al*., 1990). الگوی کشت مستقیم و تراکم کاشت می‌تواند بر میزان ضریب خاموشی و میزان جذب نور توسط گیاه برنج اثر داشته باشد (Sanoh *et al*., 2004). سانو و همکاران (Sanoh *et al*., 2006) در بررسی اثر تراکم بر ضریب خاموشی و میزان جذب نور در گیاه برنج در شرایط کشت مستقیم بیان کرده‌اند که در شرایط تراکم بالاتر میزان جذب نور در برنج افزایش یافته و از طرفی میزان ضریب خاموشی گیاه کوچک‌تر می‌گردد. همچنین این محققین بیان داشتند که در شرایط کشت مستقیم به دلیل پنجه‌زنی بیشتر گیاه برنج به‌ویژه تا مرحله پنجه‌زنی فعال، میزان جذب نور در تراکم ثابت نسبت به کشت نشایی بالاتر است. از طرفی دیگر، کمانیان و همکاران (Kemanian *et al*., 2004) بیان کردند که اثر تراکم بر میزان ضریب خاموشی گیاه جو بی‌تاثیر بود. به هرحال بررسی‌ها نشان می‌دهد که درباره میزان جذب نور، ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور که جزو عوامل اثرگذار بر عملکرد گیاه برنج می‌باشند، در شرایط کشت مستقیم به‌خصوص در ایران اطلاعات کمی وجود دارد و از آن‌جایی‌که یکی از مهم‌ترین راهکارهای انتخاب رقم مناسب و تعیین تراکم مطلوب در شرایط کشت مستقیم برنج، مطالعه میزان جذب نور در طول فصل رشد گیاه می‌باشد (Sanoh *et al*., 2004)، در این تحقیق سعی شده است تا میزان جذب و کارایی مصرف نور و همچنین ضریب استهلاک نوری در ارقام جدید و قدیم برنج در تراکم‌های مختلف کشت مستقیم در شرایط آب و هوایی شهرستان رشت ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

مشخصات آزمایش

به‌منظور بررسی اثر تراکم و ژنوتیپ بر میزان جذب نور، ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور در گیاه برنج آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۸ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۵ تیمار در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور- رشت اجرا شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل پنج تراکم بذر (۶۵، ۸۰، ۹۵، ۱۱۰ و ۱۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار) و سه ژنوتیپ برنج (لاین امید بخش طاهر، رقم آنام و رقم هاشمی) بودند.

آماده‌سازی زمین و نهاده‌های مصرفی

آماده‌سازی زمین شامل انجام شخم اول در نیمه اول فروردین، شخم دوم در اواخر فروردین و تسطیح هفت روز قبل از بذرپاشی بود. پس از آماده‌سازی زمین، کرت‌هایی به ابعاد ۵×۳ متر ایجاد گردید. فاصله بین کرت‌ها نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها از یکدیگر یک متر درنظر گرفته شد. (کشت بذرهای جوانه‌دار شده در هر کرت بر اساس تراکم مدنظر به‌صورت دست‌پاش و بدون ردیف بود). تمامی بذور قبل از کاشت پیش‌جوانه‌دار شدند. به‌منظور پیش‌جوانه‌دار کردن بذور، ابتدا آن‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در آب ولرم غوطه‌ور کرده و سپس به مدت یک تا دو روز در شرایط گرم و مرطوب (داخل گونی‌های کنفی مرطوب) قرار داده تا جوانه‌زنی انجام گیرد و پس از آن، بذور جوانه‌زده

به‌صورت دستپاش در کرت‌های مورد نظر پاشیده شدند. به‌منظور کنترل علف‌های هرز از علف‌کش کانسیل (به‌صورت خاک‌پاش) پنج روز قبل از بذرپاشی و کلین‌وید (به‌صورت برگ‌پاش) در مرحله سه تا چهار برگی علف‌های هرز استفاده گردید.

به‌منظور تعیین میزان کودهای مصرفی، ابتدا نمونه‌های خاک از مزرعه آزمایشی مورد نظر تهیه شده و پس از تعیین میزان عناصر غذایی موجود در آن در آزمایشگاه خاک‌شناسی بخش خاک و آب موسسه تحقیقات برنج (جدول ۱)، اقدام به کوددهی شد. تمامی کودهای فسفاته و پتاسه در مرحله آماده‌سازی زمین به کرت‌های مورد نظر اضافه شدند. کود نیتروژنه در چهار مرحله (۴۰ درصد ۲۰ روز پس از کاشت، ۲۰ درصد در مرحله پنجه‌زنی، ۲۰ درصد در مرحله ساقه‌رفتن و ۲۰ درصد در مرحله خوشه‌دهی) به‌صورت سرک اعمال گردید. به‌منظور مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج نیز، گرانول‌پاشی حشره‌کش دیازینون ۱۰ درصد به مقدار ۱۵ کیلوگرم در هکتار طی دو نوبت انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil

هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل N (%)	فسفر قابل جذب P (ppm)	پتاسیم قابل جذب K (ppm)	بافت خاک Soil texture
0.92	7.49	2.11	0.2	6.7	191	Silty Clay

نمونه‌برداری‌ها

نمونه‌برداری از ۲۵ روز پس از سبز شدن تا زمان برداشت هر دو هفته یک‌بار (پنج مرحله) انجام شد. نمونه‌برداری‌ها با کوادرات‌های ۰/۵ × ۰/۵ متر به‌منظور اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک ارقام برنج در تراکم‌های مختلف انجام گرفت. هم‌زمان و در همان مکان نمونه‌گیری‌ها و قبل از برداشت نمونه‌ها، اندازه‌گیری تشعشع بالا و زیر تاج پوشش گیاه برنج به‌وسیله دستگاه نورسنج (مدل LI-250) انجام گرفت و میزان تشعشع کل در بالا (کل نور رسیده به سطح کانوپی I_0) و زیر کانوپی گیاهان (نور عبور یافته I_i) اندازه‌گیری شد. به‌منظور کاهش خطا زمان تمامی نمونه‌برداری‌های نوری ساعت۱۱ صبح الی ۲ بعدازظهر بود. در هر کوادرات نمونه‌برداری، چهار بار اندازه‌گیری نور (مراحل اندازه‌گیری نور بر اساس مقیاس BBCH شامل مرحله پنجه‌زنی، مرحله طویل شدن ساقه، مرحله آبستنی، مرحله گل‌دهی (Lancashire *et al.*, 1991)). در زیر پوشش گیاهی (حدوداً ۱۰ سانتی‌متری سطح زمین) انجام می‌گرفت که دو بار در یک جهت و دو بار دیگر عمود بر آن‌ها انجام شد و میانگین این چهار اندازه‌گیری به‌عنوان تشعشع عبور یافته به زیر کانوپی ثبت گردید (Sanoh *et al.*, 2006). در مرحله برداشت پس از حذف اثر حاشیه، ابتدا نمونه‌گیری با کوادرات‌های یک مترمربعی از نیمه دست نخورده هر کرت آزمایشی انجام گردید و پس از انتقال به آزمایشگاه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی برنج اندازه‌گیری شده و شاخص برداشت برنج نیز محاسبه شد. تاریخ برداشت لاین طاهر، ۹۸/۵/۱۹ و ارقام آنام و هاشمی ۹۸/۵/۲۲ بود. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل Li-cor) استفاده شد و جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت گرفتند.

محاسبات بخش نور

با توجه به معادله ۱ و با داشتن شاخص سطح برگ و اندازه‌گیری نور در بالا و پایین کانوپی، ضریب استهلاک نوری (K) با رگرسیون‌گیری از لگاریتم طبیعی مقدار نور عبور کرده (I_i / I_0) در مقابل شاخص سطح برگ به‌دست آمد. (Keating and Carberry, 1993).

$$I_i / I_0 = e^{-k.LAI} \quad (۱)$$

I_0: مقدار تشعشع در بالای کانوپی، Ii: مقدار تشعشع در پایین کانوپی، K: ضریب استهلاک نوری، LAI: شاخص سطح برگ.

برای محاسبه کارایی مصرف نور، میزان شاخص سطح برگ روزانه و همچنین تشعشع جذب شده روزانه برآورد شد. بدین منظور مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لجستیک پیک (معادله ۲) به مقایر LAI اندازه‌گیری شده (Y) تعیین گردید (Tsubo *et al.*, 2005).

$$y = a + b \times 4 \times (\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2 \quad (۲)$$

در معادله ۲، a: عرض از مبدا، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI، c: حداکثر LAI و d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x: زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

میزان تشعشع خورشیدی روزانه بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت (واقع در مجاورت مزرعه تحقیقاتی مورد نظر)، به روش گودریان و وان‌لار (Goudriaan and Van Laar, 1993) محاسبه شد و تشعشع جذب شده روزانه بر اساس معادله (۳) محاسبه شد.

$$I_{abs} = I_0 \times (1 - P) \times (1 - \exp(-K \times LAI) \quad (۳)$$

در این معادله، I_{abs}: نور جذب شده توسط کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، I_0: نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، P: ضریب انعکاس که ۰/۰۶ منظور شد، K: ضریب خاموشی گیاه برنج بود و LAI: شاخص سطح برگ است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Minitab. Ver 16 استفاده شده و مقایسه میانگین آماری با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. رسم شکل‌ها در محیط نرم‌افزار EXCEL انجام گرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

به‌منظور بررسی شاخص سطح برگ در تمامی فصل رشد برازش داده‌ها انجام شد تا روند تغییرات آن به‌طور دقیق‌تر بررسی گردد. روند شاخص سطح برگ در همه تیمارها مشابه بود (شکل ۱) و تقریباً در ۷۰ روز پس از سبز شدن بالاترین شاخص سطح برگ در همه رقم‌ها ثبت شد (شکل ۱). بالاترین شاخص سطح برگ (۵/۶۳) در رقم هاشمی و در تراکم ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار در ۷۰ روز پس از سبز شدن مشاهده شد و در همین مرحله، کمترین شاخص سطح برگ (۴/۲۱) مربوط به رقم طاهر در تراکم ۶۵ کیلوگرم در هکتار بود. اندازه شاخص سطح برگ در اندازه‌گیری‌های اول (۲۵ و ۴۰ روز پس از سبز شدن) در تمامی ارقام کاملاً از تراکم تبعیت کرده به‌طوری‌که با افزایش تراکم، شاخص سطح برگ نیز افزایش یافت ولی در ۷۰ روز پس از سبز شدن که شاخص سطح برگ حداکثری ثبت شد، در رقم آنام تراکم ۹۵ (۵/۶۸) در رقم هاشمی تراکم ۱۱۰ (۵/۶۳) و در رقم طاهر تراکم ۹۵ (۴/۹۰) کیلوگرم در هکتار، بالاترین شاخص سطح برگ را داشتند. اگرچه سرعت افزایش شاخص سطح برگ در تمامی ارقام در تراکم‌های بالاتر در مراحل اول بیشتر بود اما بعد از رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ بین تراکم‌های ۹۵ تا ۱۲۵ کیلوگرم تفاوت معناداری مشاهده نشد. نتایج حاصل نشان داد که سرعت افزایش شاخص سطح برگ در رقم آنام کندتر از دو رقم دیگر بود اگرچه در زمان حداکثر شاخص سطح برگ یعنی حدود ۶۰ تا ۷۵ روز پس از سبز شدن اختلافی بین حداکثر شاخص سطح برگ در آنام و دیگر ارقام مشاهده نگردید (شکل ۱).

حدوداً در تمامی ارقام، ۳۵ روز پس از سبز شدن افزایش شاخص سطح برگ سرعت پیدا کرده و این سرعت افزایش در تراکم ۹۵ و ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار بیشتر بوده و باعث ثبت بالاترین شاخص سطح برگ‌ها در این دو تراکم در تمامی ارقام گردید در حدود ۵۵ روز تا ۷۵ روز پس از سبز شدن شاخص سطح برگ در بالاترین میزان هر رقم و تراکم قرار داشته و پس از آن روند کاهشی پیدا کرد اگرچه روند کاهشی در تراکم‌های ۶۵ تا ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار چندان متفاوت نبود اما در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار سرعت بیشتری داشت (شکل ۱). علا و همکاران (Ala *et al.*, 2015) در بررسی کارایی مصرف نور در ارقام برنج در شرایط تداخل علف هرز در استان مازندران، شاخص سطح برگ برنج را در شرایط کشت مستقیم در ارقام مورد مطالعه ۴ تا ۵/۷ گزارش کردند که با نتایج حاصل از این آزمایش مطابقت داشت. همچنین ایشان عنوان کردند که رقم طارم سرعت بالاتری در افزایش شاخص سطح برگ داشت که اختلاف سرعت افزایش سطح برگ در این مطالعه نیز مشاهده گردید به‌طوری‌که رقم طاهر به‌طور مشخص سرعت کمتری در افزایش شاخص سطح برگ به‌خصوص در اوایل رشد نسبت به رقم هاشمی داشت. سرعت بسته شدن شاخص سطح برگ در تراکم‌های پایین‌تر، کم‌تر بود به‌عبارتی تراکم‌های بالاتر بیش از آن‌که بر اندازه نهایی شاخص سطح برگ اثرگذار باشد بر سرعت رسیدن به شاخص نهایی تاثیر داشت. در یک مطالعه با بررسی اثر تراکم بر کارایی مصرف و جذب نور در برنج گزارش گردید که سرعت افزایش شاخص سطح برگ در تراکم‌های بالا، بیشتر بود و از طرفی روند کاهش شاخص سطح برگ در اواخر دوره رشد در تراکم‌های بالاتر نیز سرعت بیشتری داشت (Sanoh *et al.*, 2006).

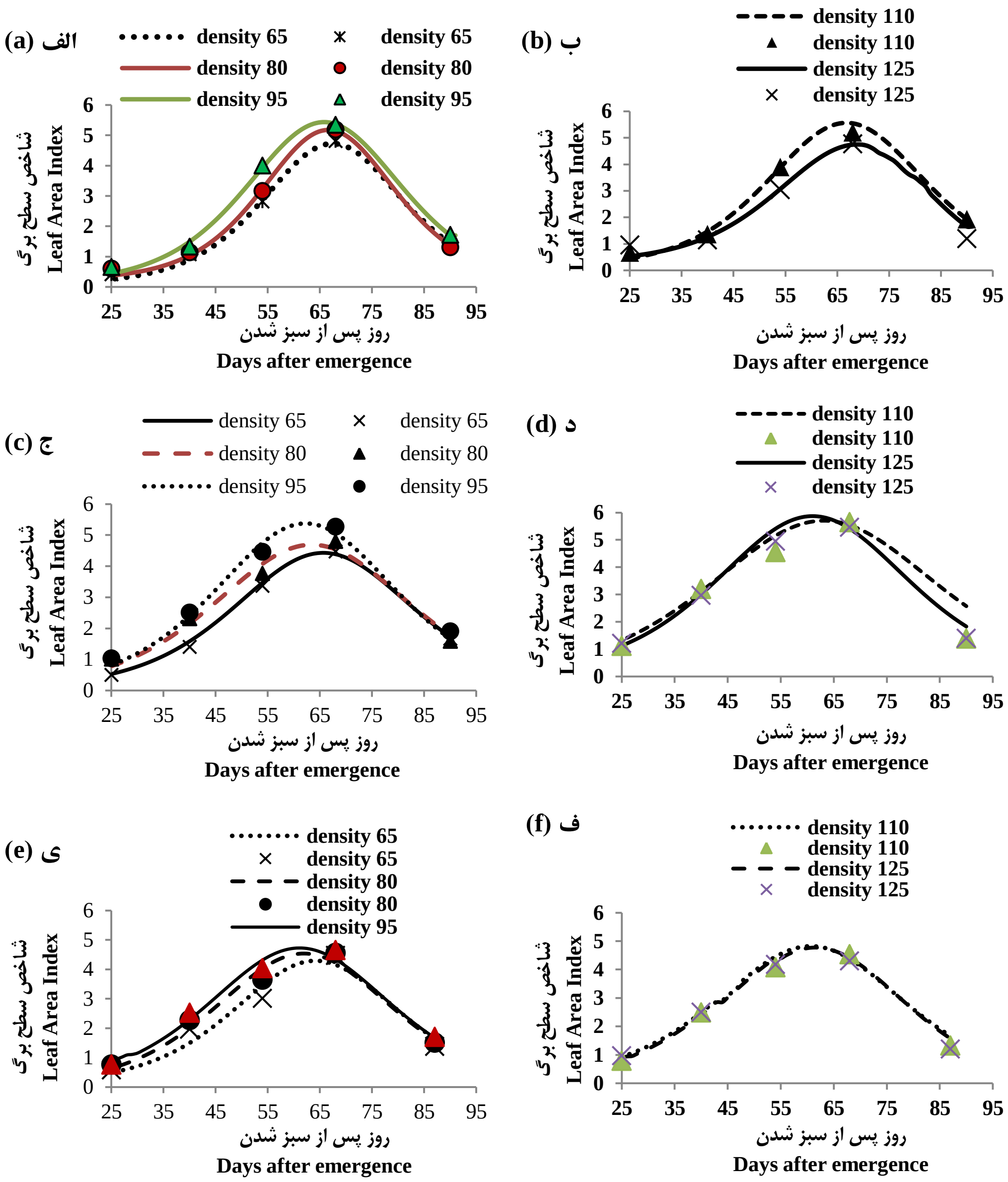
ضریب خاموشی نور

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تراکم و رقم و اثر متقابل این دو بر ضریب خاموشی نور بی‌تاثیر بود (جدول ۲).

معادله ۱ به‌خوبی تغییرات نور عبور یافته نسبت به کل نور رسیده به کانوپی را در برابر شاخص سطح برگ توجیه کرد (جدول ۳). میزان ضریب خاموشی به‌دست آمده در این آزمایش در ارقام و تراکم‌های مختلف در بازه ۰/۴ تا ۰/۵ متغیر بود و اگرچه اختلاف معناداری در داده‌ها مشاهده نشد ولی رقم طاهر از نظر ضریب خاموشی نور بالاتر بود و با افزایش تراکم نیز تا حدودی افزایش ضریب خاموشی مشاهده گردید به‌طوری‌که بالاترین میزان ضریب خاموشی در رقم طاهر با تراکم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید که البته با دیگر تیمارها اختلاف معنادار نداشت (جدول ۳).

در منابع مختلف ضریب خاموشی گیاه برنج از ۰/۳۰ (Dingkuhn *et al.*, 1999) تا ۰/۶۸ (Kampbel *et al.*, 2001) و ۰/۷۱ (Ala *et al.*, 2015) گزارش شده است. از آن‌جایی‌که یکی از والدین رقم آنام رقم بومی هاشمی بوده و اصلاح طاهر نیز از طریق ایجاد موتاسیون در رقم محلی طارم بوده است و هدف از اصلاح آن‌ها بیشتر حفظ خصوصیات کیفی آن‌ها بوده تا عملکرد، از این‌رو این ارقام در خصوصیاتی مانند ضریب خاموشی که به نوع توزیع برگ‌ها مرتبط است با یکدیگر اختلاف چندانی نداشتند. علا و همکاران (Ala *et al.*, 2015) ضریب خاموشی برنج را ۰/۴۴ تا ۰/۷۱ اعلام کردند و

گزارش کردند که دو ژنوتیپ لاین۸۴۳ و رقم خزر اختلاف معناداری از نظر ضریب خاموشی نداشتند. سانو و همکاران (Sanoh *et al.*, 2006) در بررسی ضریب خاموشی برنج گزارش کردند که در شرایط افزایش تراکم، ضریب خاموشی گیاه کاهش می‌یابد، که البته این نتیجه در این آزمایش مشاهده نشد. کمانیان و همکاران (Kamanian *et al.*, 2004) نیز گزارش کردند که اثر رقم، تاریخ کاشت و تراکم بر ضریب خاموشی جو بی‌تاثیر بود.



شکل ۱- روند شاخص سطح برگ ارقام آنام (الف و ب)، هاشمی (ج و د) و طاهر (ی و ف) در تراکم‌های مختلف. (خطوط، داده‌های برازش یافته و نقاط داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشند)

Figure 1- Leaf area index (LAI) trend of Anam (A and B), Hashemi (C and D) and Taher (e and F) Cultivars at different densities. (The lines are fitted data and the points are measured data)

عملکرد زیستی، دانه و شاخص برداشت

اثر اصلی تراکم در سطح یک درصد و اثر متقابل رقم و تراکم در سطح پنج درصد بر عملکرد زیستی گیاه برنج معنادار بود و همچنین بین ارقام برنج از نظر عملکرد زیستی تفاوت معناداری از نظر آماری مشاهده نشد (جدول ۲). بالاترین میزان عملکرد زیستی با ۱۳ تن در هکتار در رقم طاهر و تراکم ۹۵ کیلوگرم مشاهده شد و کمترین میزان عملکرد زیستی با ۱۰/۲ تن در هکتار در رقم آنام و تراکم ۶۵ کیلوگرم به‌دست آمد (جدول ۴).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر رقم و تراکم بر ضریب خاموشی، کارایی مصرف نور، عملکرد اقتصادی، زیستی و شاخص برداشت برنج

Table 2- Analysis of variance results of effect density and cultivar on light extinction coefficient, radiation use efficiency, seed and biological yield and harvest index of rice

منابع تغییر	درجه آزادی d.f	ضریب خاموشی نور Light extinction coefficient	کارایی مصرف نور Radiation use efficiency	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replicate	2	0.0051ns	0.0121**	3556.95ns	124.68ns	6.1555ns
واریته Cultivar	2	0.0171ns	0.301**	7247.35ns	2345.75ns	5.9555ns
تراکم Density	4	0.0022ns	0.407**	41089.61**	9812.20**	17.8000**
واریته* تراکم Density*Cultivar	8	0.0003ns	0.071**	11838.57*	2388.61*	2.0666ns
اشتباه Error	28	0.0221	0.009	3912.40	924.59	2.7746
ضریب تغییرات C.V		8.0	10.4	5.5	5.6	3.4

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: are non-significant and significant at 5% and 1% probability level, respectively

جدول ۳- برآورد ضریب خاموشی از معادله $I_i/I_0=exp\ (-k*LAI)$ در سطوح مختلف تراکم و رقم در گیاه برنج

Table 3- Estimation of extinction coefficient by equation $I_i/I_0=exp\ (-k*LAI)$ at different levels of density and cultivars in rice plant

رقم Cultivar	تراکم Density	تعداد نمونه n	K±SE	جذر میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تبیین R^2
آنام Anam	65	15	0.41±0.014	0.022	0.99
	80	15	0.41±0.008	0.019	0.99
	95	15	0.42±0.017	0.017	0.97
	110	15	0.42±0.019	0.042	0.98
	125	15	0.44±0.009	0.062	0.96
هاشمی Hashemi	65	15	0.42±0.011	0.052	0.89
	80	15	0.44±0.013	0.057	0.88
	95	15	0.45±0.023	0.029	0.88
	110	15	0.47±0.027	0.036	0.93
	125	15	0.47±0.022	0.042	0.89
طاهر Taher	65	15	0.47±0.013	0.037	0.91
	80	15	0.47±0.032	0.039	0.92
	95	15	0.49±0.009	0.020	0.92
	110	15	0.50±0.007	0.023	0.92
	125	15	0.51±0.021	0.041	0.90

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تراکم بر عملکرد زیستی و دانه گیاه برنج

Table 4- Means comparison of interaction effects between cultivar and density on biological and grain yield in rice

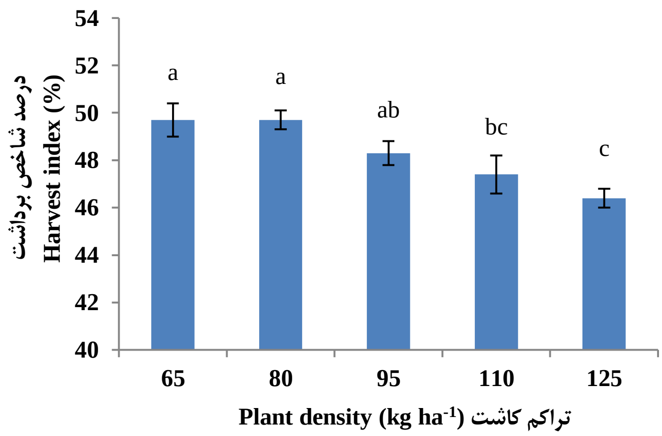
تیمار Treatment		عملکرد زیستی Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)
آنام Anam	65	10210±15.2^{c}	5190±4.9^{cd}
	80	10270±20.2^{c}	5170±35.6^{cd}
	95	12720±16.4^{ab}	6100±15.0^{ab}
	110	11470±11.6^{abc}	5540±3.8^{bc}
	125	10370±5.8^{c}	4890±6.7^{d}
هاشمی Hashemi	65	10900±30.5^{bc}	5210±4.8^{cd}
	80	10950±12.4^{bc}	5340±6.1^{cd}
	95	11240±58.5^{abc}	5400±21.4^{cd}
	110	11890±77.8^{abc}	5490±10.3^{bc}
	125	11380±9.8a^{bc}	5270±4.7^{cd}
طاهر Taher	65	10600±23.5^{c}	5410±7.93^{cd}
	80	11600±69.4^{abc}	5700±44.0^{bc}
	95	13030±17.5^{a}	6380±9.8^{a}
	110	11170±45.8^{abc}	5330±9.0^{cd}
	125	11030±4.8^{bc}	5050±6.7^{d}

میانگین‌هایی (± خطای استاندارد) که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ می‌باشند.

Means (± SE) in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

بالاترین عملکرد دانه در رقم طاهر (۶۳۸۰ کیلوگرم در هکتار) و رقم آنام (۶۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار به‌دست آمد این درحالی بود که بالاترین عملکرد رقم هاشمی (۵۴۹۰ کیلوگرم در هکتار) در تراکم ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار مشاهده شد. تقریباً در هر سه رقم، عملکرد دانه از عملکرد زیستی تبعیت کرده و تیمارهای دارای عملکرد زیستی بالاتر از عملکرد دانه بالاتری نیز برخوردار بوده‌اند (جدول ۴). رقم طاهر بهترین رقم از نظر عملکرد دانه و زیستی بود به‌طوری‌که در تراکم ۹۵ کیلوگرم که بهترین عملکرد دانه و زیستی را داشت نسبت به بهترین عملکرد دانه و زیستی رقم هاشمی (تراکم ۱۱۰) به‌ترتیب ۱۱۴۰ و ۸۹۰ کیلوگرم در هکتار برتری در تولید داشت. بالاترین عملکرد دانه در رقم طاهر حدوداً بیش از ۱۶٪ بیشتر از بالاترین عملکرد دانه در رقم هاشمی بود و با توجه به این‌که اصلاح این رقم بیشتر در راستای بهبود خصوصیات کیفی بوده است در نتیجه این افزایش عملکرد می‌تواند مناسب ارزیابی گردد. در تمامی ارقام تا رسیدن به تراکم مطلوب، افزایش عملکرد مشاهده شده و پس از آن عملکرد کاهش یافت. به‌طوری‌که برای دو رقم طاهر و آنام از تراکم ۶۵ تا ۹۵ کیلوگرم، عملکرد زیستی و دانه افزایش یافت و پس از آن در تراکم ۱۱۰ و ۱۲۵ کیلوگرم، کاهش یافت اما در رقم هاشمی از تراکم ۶۵ تا ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار، عملکرد افزایش یافته و در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم کاهش یافت. میزان کاهش عملکرد دو رقم طاهر و آنام در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار بیش از رقم هاشمی بوده که حساسیت بالاتر این دو رقم نسبت به تراکم بالا را نسبت به هاشمی نشان داد. دلایل مختلفی برای حساسیت بالاتر به تراکم می‌توان بیان کرد که در این آزمایش، پنجه‌زنی بیشتر این ارقام و همچنین ورس زیاد طاهر ازجمله آنها می‌باشد (داده‌ها نشان داده نشدند). از طرفی، به نظر می‌رسد دلیل اصلی حساسیت رقم طاهر به تراکم‌های بالاتر، ضریب خاموشی بیشتر این رقم باشد به‌طوری‌که به‌دلیل ضریب خاموشی بالاتر در تراکم‌های بالا، سایه‌اندازی و رقابت نوری شدیدتر بوده و این امر کاهش استقامت ساقه و درنتیجه افزایش حساسیت گیاه به ورس را به‌دنبال داشت. با افزایش تراکم تا حد مطلوب، افزایش عملکرد برنج مشاهده می‌شود و پس از آن به‌دلیل افزایش رقابت درون گونه‌ای عملکرد گیاه کاهش می‌یابد که این کاهش برای عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی بیشتر می‌باشد (Akita and Tanaka, 1992). موسوی و همکاران (Mosavi *et al.*, 2012) با بررسی اثر تراکم بر عملکرد برنج در کشت مستقیم در شرایط اهواز گزارش کردند که تراکم ۱۴۰ کیلوگرم بذر در هکتار، عملکرد ماده خشـک و دانه و همچنین تعداد دانه در خوشه را در مقایسه با تراکم ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار کاهش داد. این محققین بیان کردند که در تراکم ۱۴۰ کیلوگرم بذر در هکتار، کاهش عملکرد حاصل از رقابت درون‌گونه‌ای برنج از کاهش عملکرد حاصل از رقابت با علف‌هرز سوروف نیز بالاتر بود.

اثر تراکم بر شاخص برداشت معنادار بود ولی اثر اصلی رقم و اثر متقابل رقم در تراکم بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۱). بالاترین شاخص برداشت (۴۹/۷ درصد) در تراکم‌های ۶۵ و ۸۰ کیلوگرم بذر در هکتار مشاهده شد و با افزایش تراکم شاخص برداشت کاهش داشت به‌طوری‌که کمترین شاخص برداشت (۴۶/۴ درصد) در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار به‌دست آمد (شکل ۲).



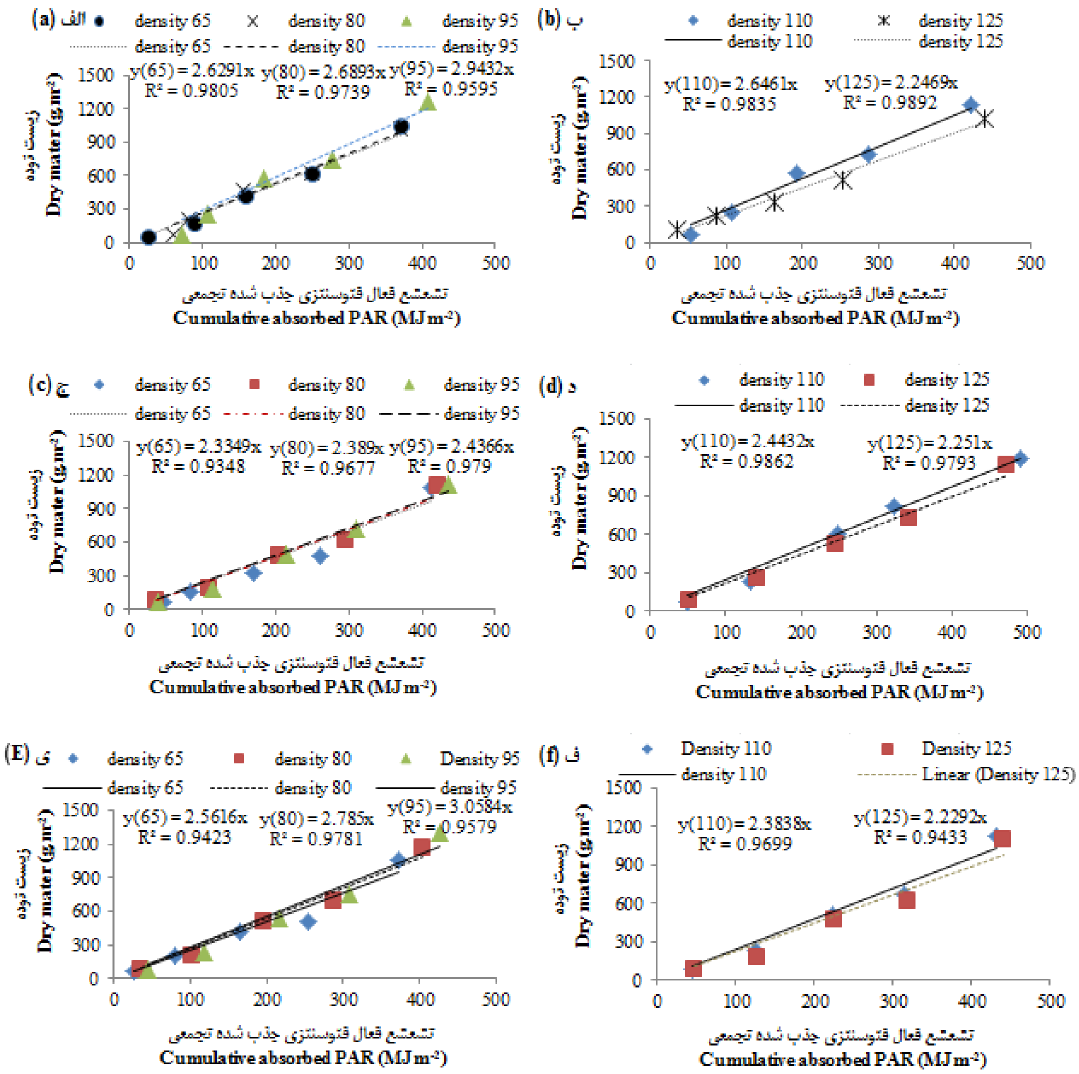
شکل ۲- اثر تراکم کشت بر شاخص برداشت گیاه برنج
Figure 2- Plant density effect on harvest index of rice

افزایش تراکم در برنج به‌دلیل این‌که عملکرد دانه در تک بوته را بیش از عملکرد زیستی کاهش می‌دهد در نتیجه منجر به کاهش شاخص برداشت می‌گردد البته افزایش تراکم تا حد مطلوب اگرچه عملکرد دانه در واحد سطح را بالا می‌برد اما افزایش عملکرد زیستی معمولا بالاتر است (Akita and Tanaka, 1992). افزایش تراکم باعث محدود شدن رشد گلچه‌ها در برنج می‌گردد زیرا در تراکم‌های

بالا سایه‌اندازی بیشتر شده و باعث عقیمی سنبله در برنج می‌گردد و بنابراین کاهش باروری در تراکم‌های بالا یکی از دلایل کاهش تولید دانه در تک بوته برنج می‌باشد که کم شدن شاخص برداشت را به‌دنبال دارد (Zeng and Shanon, 2000).

کارایی مصرف نور

اثرات اصلی رقم، تراکم و اثر متقابل این دو بر کارایی مصرف نور معنادار بود (جدول ۱). نتایج آزمایش نشان داد که در تمام تیمارها، تجمع مادهٔ خشک ارتباط خطی با تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) تجمعی داشت و در همه موارد ضریب تبیین بالاتر از ۹۰ درصد به‌دست آمد (شکل ۳).



شکل ۳- رابطه بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده و وزن خشک ارقام برنج در تراکم‌های مختلف. شکل الف و ب: رقم آنام شکل ج و د رقم هاشمی و شکل ی و ف رقم طاهر می‌باشد.

Figure 3- Relationship between cumulative absorbed photosynthetic active radiation (PAR) and total dry matter of rice cultivars at different densities. Anam cultivar (a and b), Hashemi cultivar (c and d) and Taher cultivar (e and f).

شیب رابطه بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده و وزن خشک گیاه، بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد که میانگین آن در رقم آنام از ۲/۲۴ تا ۲/۹۴ گرم بر مگاژول PAR به‌ترتیب در تراکم‌های ۱۲۵ و ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار مشاهده شد. بازه کارایی مصرف نور به‌دست آمده در رقم هاشمی بین ۲/۲۶ تا ۲/۵۶ گرم بر مگاژول PAR بود که به‌ترتیب در تراکم ۱۲۵ و ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. بیشترین (۳/۰۶ گرم بر مگاژول PAR) و کمترین (۲/۲۰ گرم بر مگاژول PAR) میزان کارایی مصرف نور در این آزمایش در رقم طاهر به‌دست آمد که به‌ترتیب در تراکم‌های ۹۵ و ۱۲۵ کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۳ و جدول ۵).

جدول ۵- کارایی مصرف نور (گرم ماده خشک به‌ازای هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی) ارقام برنج در تراکم‌های مختلف

Table 5- Radiation use efficiency (g.dm.MJ^{-1}) of rice cultivars at different densities

رقم Cultivar	تراکم کاشت Plant density (kg ha^{-1})				
	65	80	95	110	125
آنام Anam	2.62±0.09cde	2.68±0.12bcd	2.94±0.02ab	2.64±0.16cde	2.24±0.26g
هاشمی Hashemi	2.33±0.10fg	2.39±0.15efg	2.44±0.02defg	2.56±0.15cdefg	2.28±0.26g
طاهر Taher	2.56±0.10cdefg	2.80±0.12abc	3.06±0.24a	2.40±0.18defg	2.20±0.23g

میانگین‌هایی (± خطای استاندارد) که در جدول (ستون و ردیف) حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح ۵٪ می‌باشند.

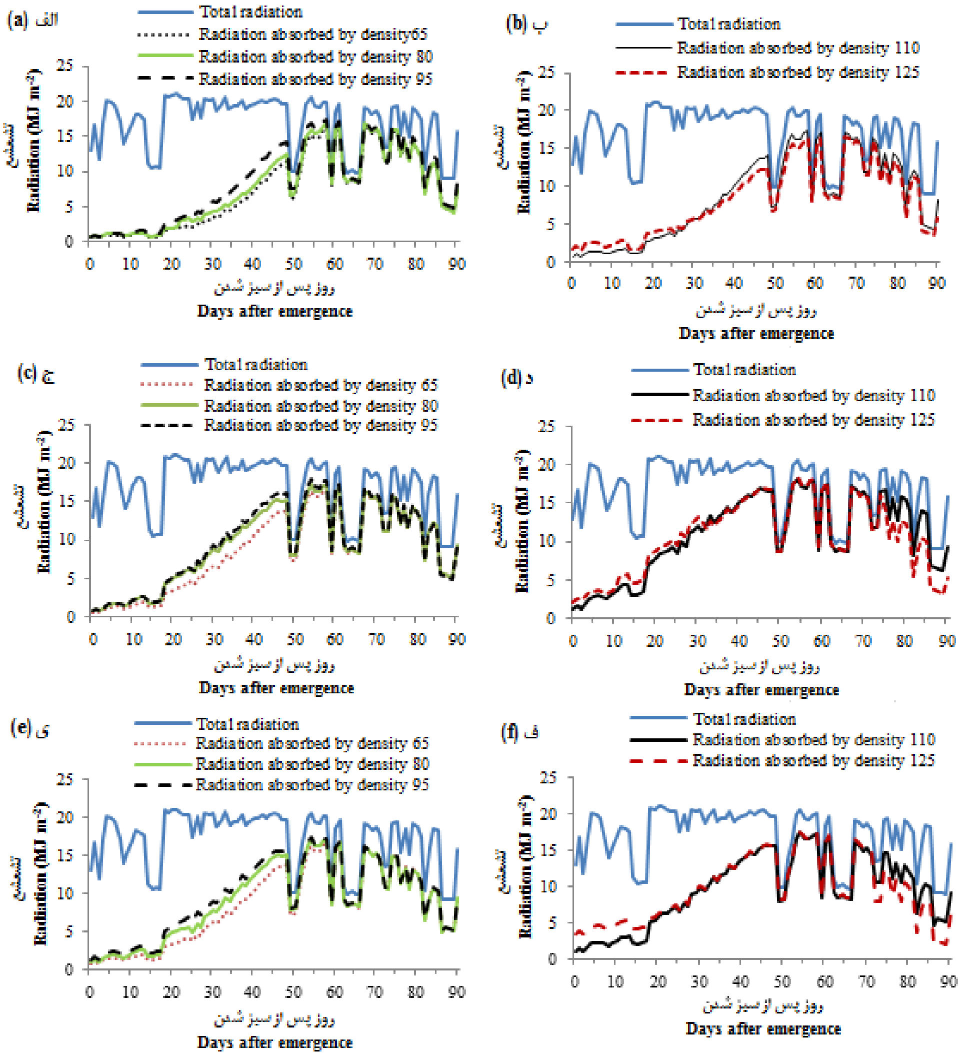
Means (± SE) in table (row and column) followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels using LSD test.

کارایی مصرف نور برای رقم طاهر و آنام، تا تراکم ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار، افزایش و سپس کاهش یافت، ولی در رقم هاشمی بالاترین کارایی مصرف نور در تراکم ۱۱۰ به‌دست آمد (جدول ۵). روند کارایی مصرف نور با عملکرد گیاه برنج مشابه بود (جدول ۴). نتایج نشان داد تا زمانی‌که با افزایش تراکم، کارایی مصرف نور افزایش یافت، میزان عملکرد نیز افزایش داشت ولی وقتی تراکم به‌قدری زیاد شد (تراکم ۱۱۰ برای رقم طاهر و تراکم ۱۲۵ برای ارقام هاشمی و آنام) که به‌دلیل سایه‌اندازی زیاد، کارایی مصرف نور کاهش یافت، عملکرد نیز کاهش یافت. علا و همکاران (Ala *et al*., 2015) کارایی مصرف نور برنج رقم طارم را ۲/۷۷ گرم بر مگاژول PAR گزارش کردند که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت و البته در آزمایش ایشان کارایی‌های بالاتری تا حدود ۳/۳۰ نیز گزارش شد که مربوط به ارقام پرمحصول بود. تراکم‌های مطلوب به‌دلیل ایجاد شرایط مناسب بین میزان نور جذب شده و ماده خشک تولید شده می‌توانند منجر به افزایش کارایی مصرف نور گردند (Purcell *et al*., 2002, Chen *et al*., 2019). بین میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده تجمعی و سرعت رشد گیاه برنج رابطه خطی وجود دارد که تراکم با اثر بر شیب این رابطه عملکرد گیاه برنج را تحت تاثیر قرار می‌دهد (San-oh *et al*., 2006, Lin *et al*., 2009). کاتسورا و همکاران (Katsura *et al*., 2010) با بررسی ارقام مختلف برنج بیان کردند که خصوصیاتی مانند میزان باز بودن روزنه‌ها، ضریب خاموشی متفاوت و شاخص سطح برگ باعث اختلاف در کارایی مصرف نور بین ارقام مختلف می‌گردد. همچنین این محققین، مقدار کارایی مصرف نور را در ارقام مورد بررسی بین ۲/۴۰ تا ۳/۴۵ گرم ماده خشک بر مگاژول تشعشع بیان کردند که با اعداد حاصل از این آزمایش مطابقت داشت. کاهش کارایی مصرف نور در تراکم‌های بالا باعث تعیین سقف عملکرد می‌شود به‌طوری‌که با افزایش تراکم در هر گیاه تا یک میزانی، کارایی مصرف نور زیاد شده و پس از آن کاهش می‌یابد که این عامل، عملکرد پتانسیل گیاه را تعیین می‌کند (Ball *et al*., 2001). البته دقیقاً دلیل کاهش کارایی مصرف نور تحت تاثیر افزایش تراکم مشخص نیست. برخی از محققین، افزایش ورس گیاه تحت تاثیر افزایش تراکم را دلیل کاهش کارایی مصرف نور بیان کردند (Purcell *et al*., 2002). با این‌حال در شرایط بدون ورس نیز کاهش کارایی مصرف نور با افزایش تراکم مشاهده گردید، بنابراین دلایل دیگری نیز وجود دارد. سینکلایر و ماچو (Sinclaier and Muchow, 1999) بیان کردند که در تراکم‌های بالاتر از حد مطلوب در گیاه برنج، بخاطر کاهش نور رسیده به قسمت‌های پایین پوشش گیاه، برگ‌های پایینی زودتر پیر شده و این یک عامل موثر برکاهش کارایی مصرف نور در برنج می‌باشد. در آزمایش حاضر نیز در تمامی ارقام در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم کاهش شاخص سطح برگ در اواخر دوره رشد، سریع‌تر از تراکم‌های دیگر اتفاق افتاد (شکل ۱). در تراکم‌های بالا رقابت بر سر جذب نیتروژن افزایش یافته و در نتیجه غلظت نیتروژن در برگ کاهش می‌یابد و با توجه به نقش نیتروژن در فتوسنتز (آنزیم رابیسکو) و ساختار کلروفیل‌ها این شرایط باعث کاهش میزان کارایی مصرف نور می‌گردد (Sinclaier and Horie, 1989). لیو و همکاران (Liu *et al*., 2019) نیز بیان کردند که کارایی مصرف نور در ارقام سوپر هیبرید برنج تحت تاثیر افزایش تراکم بالا رفته و باعث افزایش عملکرد می‌گردد ولی در تراکم‌های خیلی زیاد عواملی چون ورس و عقیمی سنبله باعث کاهش کارایی مصرف نور و به‌دنبال آن کاهش عملکرد می‌گردد.

میزان جذب نور

روند تغییرات کل تشعشع رسیده به سطح گیاه و میزان تشعشع جذب شده روزانه توسط کانوپی ارقام برنج در تراکم‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. در ابتدای دوره رشد از میزان کل تشعشع رسیده به سطح پوشش گیاهی، به دلیل پایین بودن شاخص سطح برگ و باز بودن کانوپی، جذب نور توسط گیاه کم بود ولی با گذشت زمان و متناسب با افزایش شاخص سطح برگ میزان جذب نور توسط کانوپی افزایش یافت و پس از رسیدن به میزان حداکثر خود، به علت کاهش سطح برگ تا انتهای دوره رشد روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۴). آنچه که مشخص است در ابتدای دوره رشد

تیمارهای با تراکم زیاد در تمامی ارقام جذب بالاتری داشتند ولی در زمانی‌که شاخص سطح برگ به حداکثر میزان خود رسید تفاوت جذب بین تیمارهای مختلف حدوداً یکسان بود. حداکثر جذب برای تمامی ارقام و تراکم‌ها در حدود ۵۰ تا ۷۵ روز پس از سبز شدن اتفاق افتاد (شکل ۴)، دقیقاً زمانی‌که شاخص سطح برگ آن‌ها به حداکثر میزان خود رسید (شکل ۱). با توجه به این‌که جذب نور به میزان تشعشع برخورد کرده به کانوپی، شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور بستگی دارد و از آن‌جایی‌که در این آزمایش ضریب خاموشی تفاوت معنی‌داری نداشت، بنابراین تفاوت جذب روزانه تشعشع در تیمارهای مختلف ناشی از تفاوت در شاخص سطح برگ آن‌ها بود. البته تفاوت در میزان جذب نور به‌دلیل تفاوت اندازه نهایی شاخص سطح برگ نبود یا حداقل صرفاً به آن دلیل نبود زیرا در زمان حداکثر شاخص سطح برگ، میزان جذب نور در تمامی تیمارها حدوداً برابر بود (یا تفاوت اندکی داشت) (شکل ۴). بر این اساس، عامل اصلی در تفاوت میزان جذب تشعشع روزانه در طول فصل رشد برنج را می‌توان سرعت رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ و زمان باقی ماندن شاخص سطح برگ در حداکثر دانست. بالاترین میزان جذب نور در هر سه رقم در تیمارهایی به‌دست آمد که بالاترین میزان شاخص سطح برگ را داشتند. به‌طوری‌که آنام و طاهر در تراکم ۹۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب با ۷۷۳ و ۸۵۲ مگاژول بر متر مربع PAR و رقم هاشمی در تراکم ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار با ۸۸۰ مگاژول بر متر مربع PAR بالاترین میزان جذب تشعشع در طول فصل رشد را داشتند. میزان جذب نور تجمعی در تمامی ارقام در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار کاهش یافت (جدول ۶).



شکل ٤- تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده روزانه در کانوپی ارقام برنج در تراکم‌های مختلف در طول فصل رشد. شکل الف وب، رقم آنام شکل ج و د رقم هاشمی و شکل ی و ف رقم طاهر می‌باشد.

Figure 3- Daily photosynthetic active radiation absorbed of rice cultivars at different densities during the growing season. Anam cultivar (a and b), Hashemi cultivar (c and d) and Taher cultivar (e and f).

در این آزمایش هرچه میزان تراکم در ارقام مختلف بیشتر شد سرعت افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه میزان جذب نور روزانه افزایش یافت که در نهایت منجر به افزایش جذب تشعشع کل گردید، اما در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم اگرچه میزان جذب تا قبل از رسیدن به شاخص سطح برگ نهایی، از تمامی تراکم‌های دیگر بالاتر بود اما کل جذب تشعشع در طول فصل رشد به‌دلیل سرعت از دست رفتن شاخص سطح برگ در اواخر دوره رشد کاهش یافت (جدول ۶).

جدول ٦– میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی (مگاژول بر متر مربع) ارقام برنج در تراکم‌های مختلف در طول فصل رشد

Table 6-Cumulative absorbed photosynthetic active radiation ($MJ.m^{-2}$) of rice cultivars at different densities.

رقم	تراکم بذر Seed density ($kg.ha^{-1}$)				
Cultivar	65	80	95	110	125
Anam آنام	665	701	773	766	710
Hashemi هاشمی	678	744	810	880	790
Taher طاهر	685	770	852	790	690
LSD (5%)	45	39	37	43	49

تحقیقات نشان داده است که کاهش جذب تابش توسط پوشش گیاهی پس از گرده‌افشانی ناشی از پیری تدریجی برگ‌های پایین و سایه‌اندازی برگ‌های بالایی می‌باشد (Beheshti *et al*., 2002; Vargas *et al*., 2002). در شرایط تراکم‌های بالا که میزان نور پخش شده در داخل کانوپی کاهش پیدا می‌کند سرعت پیر شدن برگ‌ها افزایش یافته و در نتیجه میزان جذب نور کاهش می‌یابد (Sinclaier *et al*., 1999). هر چند که مونتیث (Monteith, 1977) کارایی مصرف نور گیاهان را ثابت و مقدار آن را ۱/۴ گرم بر مگاژول تشعشع خورشیدی عنوان کرد اما مطالعات بعدی نشان دادند که کارایی مصرف نور ثابت نبوده و مقدار آن تحت تاثیر عوامل محیطی و مدیریتی زیادی قرار می‌گیرد (Rosati *et al*., 2004; Lindqueist *et al*., 2005; Ceotto *et al*., 2002; Akmal *et al*., 2004). یکی از مدیریت‌های زراعی که کارایی مصرف نور گیاهان زراعی را تحت تاثیر قرار می‌دهد، تراکم گیاه می‌باشد و نتایج مطالعات زیادی این مسئله را نشان داده‌اند (Tsubo *et al*., 2001; Purcell *et al*., 2002; Sianoh *et al*., 2006). البته در برخی از مطالعات نیز گزارش شده که افزایش جمعیت گیاه در واحد سطح، میزان جذب نور را تحت تاثیر قرار داده و تاثیر کمتری بر کارایی مصرف نور دارد (Zhang *et al*., 2008). با این وجود نتایج این آزمایش نشان داد که افزایش تراکم در رقم هاشمی از ۶۵ تا ۱۱۰ کیلوگرم و در ارقام آنام و طاهر از ۶۵ تا ۹۵ کیلوگرم هم باعث افزایش میزان جذب نور تجمعی (جدول ۶) و هم افزایش جذب نور روزانه (شکل ۴) شد و هم افزایش کارایی مصرف نور را به‌دنبال داشت (شکل۳ و جدول ۵). تا قبل از بسته شدن کانوپی برنج (حدوداً تا ۴۰ روز پس از سبز شدن (شکل ۴) در آزمایش حاضر)، تشعشع جذب شده تجمعی تحت تاثیر شاخص سطح برگ و طول این دوره قرار دارد (San-oh *et al*., 2006) ولی بعد از این‌که گیاه به شاخص سطح برگ بحرانی خود می‌رسد، نوع پراکنش نور در کانوپی میزان جذب نور را تعیین می‌کند (Peng, 2000). که این خود تحت تاثیر نوع پراکنش برگ و زاویه آن می‌باشد (Stewart *et al*., 2003). در تراکم‌های بالا، گیاه برنج شاخص سطح برگ بیشتری داشته و زمان کمتری برای پنجه‌زنی هدر می‌دهد که این عامل جذب بالاتر نور را به همراه خواهد داشت (Liu *et al*., 2019).

بررسی همبستگی بین صفات نشان‌دهنده همبستگی مثبت کارایی مصرف نور در سطح احتمال یک درصد با عملکرد دانه، زیستی و شاخص برداشت بود و همچنین بین کارایی مصرف نور و شاخص سطح برگ همبستگی در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت (جدول ۷).

میزان جذب نور تجمعی نیز با صفات عملکردی و شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور و ضریب خاموشی نور همبستگی معنادار داشت (جدول ۷). نتایج همبستگی نشان‌دهنده ارتباط بین شاخص سطح برگ، میزان جذب نور، کارایی مصرف نور و عملکرد ارقام گیاه برنج بود. ماده خشک تولید شده در گیاه به میزان دی‌اکسیدکربن تثبیت شده و تسهیم آن بستگی دارد و در شرایط بدون تنش، میزان ماده خشک تولیدی به‌طور مستقیم به میزان نور جذب شده توسط وابسته است (Lindqueist *et al*., 2005). کارایی بالاتر مصرف نور نشان‌دهنده استعداد بیشتر گیاه در تبدیل نور به زیست‌توده می‌باشد و به دلیل همبستگی بالا بین کارایی مصرف نور و تولید ماده خشک، بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول، برای پیش‌بینی رشد و عملکرد محصول در محیط‌های مختلف از مفهوم کارایی مصرف نور استفاده می‌کنند (Brisson *et al*., 2003). اگرچه عوامل زیادی از جمله شیوه کشت، منابع غذایی در دسترس، آب و غیره بر عملکرد برنج اثر می‌گذارند، اما نور مهم‌ترین عامل محیطی اثرگذار بر عملکرد دانه در گیاه برنج می‌باشد (Farque *et al*., 2001; San-oh *et al*., 2006). لیو و همکاران (Liu *et al*., 2019) در مطالعه خود با بررسی اثر رقم و تراکم بر کارایی مصرف نور و عملکرد برنج گزارش کردند

که رقم و تراکم بر میزان نور جذب‌شده در گیاه برنج اثرگذار می‌باشد. آن‌ها بیان کردند که در ارقام پرمحصول نسبت به ارقام معمولی، میزان جذب نور تا ۱۳٪ افزایش یافت. به‌هرحال در محاسبه کارایی مصرف نور میزان نور جذب شده در مخرج کسری قرار می‌گیرد که تولید ماده خشک در صورت آن کسر می‌باشد بنابراین اگر افزایش جذب نور با تولید بالاتر همراه نگردد نه تنها افزایش کارایی مصرف نور را به دنبال ندارد بلکه میزان آن را کاهش نیز می‌دهد بر این اساس، تا زمانی افزایش تراکم و افزایش شاخص سطح برگ برای کارایی مصرف نور مفید هستند که گیاه در بهترین شرایط تولید قرار داشته و به‌عبارتی هیچ‌گونه کمبودی وجود نداشته باشد. در شرایط کمبود هر عامل تولید (اعم از آب، نیتروژن و غیره)، افزایش کارایی مصرف نور نمی‌تواند به‌عنوان یک فرآیند افزایش‌دهنده عملکرد مطرح باشد (Purcell *et al*., 2002).

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در ارقام برنج در تراکم‌های مختلف

Table 7- Correlation coefficients between investigated traits in rice cultivars at different densities

Variables	**Grain yield** عملکرد دانه	**Biological yield** عملکرد زیستی	**Harvest index** شاخص برداشت	**Leaf area index** شاخص سطح برگ	**Extinction coefficient** ضریب خاموشی	**Radiation use efficiency** کارایی مصرف نور	**Absorbed radiation** نور جذب شده
Grain yield عملکرد دانه	1						
Biological yield عملکرد زیستی	0.47**	1					
Harvest index شاخص برداشت	0.38**	-0.29*	1				
Leaf area index شاخص سطح برگ	0.29*	0.31*	-0.09ns	1			
Extinction coefficient ضریب خاموشی	0.052ns	0.13ns	0.12ns	-0.39**	1		
Radiation use efficiency کارایی مصرف نور	0.69**	0.47**	0.40**	0.30*	0.06ns	1	
Absorbed radiation نور جذب شده	0.31*	0.38**	-0.39**	0.48**	0.54**	0.32*	1

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار

ns, * and**: non-significant and significant at 0.05% and 0.01% level, respectively.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که رقم طاهر بالاترین میزان عملکرد دانه و زیستی را نسبت به آنام و هاشمی داشته و همچنین از نظر عملکرد، برای آنام و طاهر ۹۵ کیلوگرم بذر در هکتار و برای رقم هاشمی ۱۱۰ کیلوگرم بذر در هکتار، بهترین تراکم در سیستم کشت مستقیم بود. افزایش تراکم تا سطح تراکم مطلوب در ارقام برنج باعث افزایش کارایی مصرف نور و افزایش جذب نور شده و همبستگی مثبت بین کارایی و جذب نور با عملکرد زیستی و دانه ارقام برنج مشاهده شد. در تراکم‌های ۱۱۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار ارقام آنام و طاهر میزان شاخص سطح برگ، جذب نور و کارایی مصرف نور نسبت به تراکم ۹۵ کیلوگرم کاهش یافت. در مورد کاهش کارایی مصرف نور می‌توان سایه‌اندازی زیاد و خارج شدن برگ‌های پایینی گیاه از چرخه تولید و پیدا کردن حالت انگلی را دلیل اصلی دانست ولی درباره کاهش شاخص سطح برگ و بالتبع میزان جذب نور، شاید دلیل اصلی رقابت نوری زیاد بین بوته‌ها در تراکم ۱۲۵ کیلوگرم عامل اصلی کاهش بود که رشد گیاه را تحت تاثیر قرار داد. به‌طورکلی، میزان جذب نور قوی‌ترین همبستگی را با عملکرد ارقام داشت و تیمارهایی که سریع‌تر کانوپی خود را بستند و همچنین بعد از مرحله گلدهی سطح برگ خود را بیشتر حفظ کردند از جذب نور بالاتر و عملکرد بالاتر برخوردار بودند. دو رقم طاهر و آنام بیش از هاشمی نسبت به افزایش تراکم حساسیت نشان داده و افت شدیدتری چه در کارایی نور و چه در عملکرد داشتند.

References

1. Akita, K., and Tanaka, N. 1992. Effects of planting density and planting patterns of young seedlings transplanting on the growth and yield of rice plants. Japanese Journal of Crop Science 61: 80-86.
2. Akmal, M., and Janssens, M. J. J. 2004. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. Field Crops Research 88: 143-155.
3. Ala, A., Aghaalikhani, M., Amiri Larijani, B., and Soofizadeh, S. 2014. Radiation Use Efficiency of Rice Cultivars in Transplanting and Direct Cropping System in Interference with Weed. Iranian Journal of Field Crop Science 45 (1): 147-160. (in Persian with English abstract).

4. Awal, M. A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 139: 74-83.
5. Ball, R. A., McNew, R., Vories, E. D., Keisling, T. C., and Purcell, L. C. 2001. Path analyses for population density effects on short-season yield. Agronomy Journal 93: 187-195.
6. Beheshti, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahalati, M. 2002. The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. Seed and Plant Improvement Journal 18: 417-431. (in Persian with English abstract).
7. Brisson, N. C., Gary, E., Justes, R., Roche, B., Mary, D., Ripoche, D., Zimmer, J., Sierra, P., Bertuzzi, P., Burger, F., Bussiere, Y. M., Cabidoche, P., Cellier, P., Debaeke, J. P., Gaudillere, C., Henault, F., Maraux, B., Seguin, B. and Sinoquet. B. 2003. An overview of the crop model STICS. Eroupean Journal of Agronomy 18: 309-332.
8. Ceotto, E., and Castelli, F. 2002. Radiation use efficiency in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): Response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitation. Field Crops Research 74: 117-130.
9. Chen, S., Yin, M., Zheng, X., Liu, Sh., Chu, G., Xu, Ch., Wang, D., and Zhang X. 2019. Effect of dense planting of hybrid rice on grain yield and solar radiation use in southeastern china. Agronomy Journal 111: 1-10.
10. Gallagher, J. L., and Biscoe, P. V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. Journal of Agricultural Science 91: 47-60.
11. Holshouser, D. L., and Wittaker, J. P. 2002. Plant population and row spacing effects on early soybean productions systems in the mid-Atlantic USA. Agronomy journal 94: 603-611.
12. Huang, M., Tang, Q. Y., Ao, H. J., and Zhou, Y. B. 2017. Yield potential and stability in super hybrid rice and its production strategies. Journal of Integrative Agriculture 16: 1009-1017.
13. Huang, M., Chen, J., Cao, F., Jiang, L., Zou, Y., and Deng, G. 2016. Improving physiological N-use efficiency by increasing harvest index in rice: a case in super-hybrid cultivar Guiliangyou 2. Archives of Agronomy and Soil Science 62: 725-743.
14. Katsura, K., Maeda, S., Lubis, I., Horie, T., Cao, W., and Shiraiwa, T. 2008. The high yield of irrigated rice in Yunnan China: a cross-location analysis. Field Crops Research 101: 1-11.
15. Katsura, K., Okami, M., Mizonuma, H., and Kato, Y. 2010. Radiation use efficiency, N accumulation and biomass production of high-yielding rice in aerobic culture. Field Crops Research 117: 81-89.
16. Kemanian, A. R., Stockle, C. O., and Huggins, D. R. 2004. Variability of barley radiation use efficiency. Crop Science 44: 1662-1672.
17. Kiniry, J. R., Tischler, C. R., and van Esbroeck, G. A. 1999. Radiation use efficiency and leaf CO_2 exchange for divers C4 grasses. Biomass and Bioenergy 17: 95-112.
18. Lancashire, P. D., Bleiholder, H., Langeluddecke, P., Stauss, R., van den Boom, T., Weber, E., and Witzen-Berger, A. 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. Annals of Applied Biology 119: 561-601.
19. Lindqueist, J. L., Timothy, J. A., Daniel, T. W., Kenneth, G. C., and Achim, D. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. Agronomy Journal 97: 72-78.
20. Lin, X.-Q., Zhu, D. F., Chen, H. Z., and Zhang. Y. P. 2009. Effects of plant density and nitrogen application rate on grain yield and nitrogen uptake of super hybrid rice. Rice Science 16: 138-142.
21. Liu,K., Yang, R., Lu, J., Wang, X., Lu, B., Tian, X., and Zhang Y. 2019. Radiation use efficiency and source-sink changes of super hybrid rice under shade stress during grain-filling stage. Agronomy Journal 111: 1788-1798.
22. Marcelis, L. F., Heuvelink, M., E., and Goudriaan, J. 1998. Modeling biomass production and yield of horticultural crops: A review. Scientia Horticulture 74: 83-111.
23. Monteith, J. L. 1977. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. Journal of Applied Ecology 9: 747-766.
24. Mosavi, H., Alami, S., Fathi, Gh., Siahpoosh, A., and Gharineh, M. 2012. Effect of planting density and herbicide on control of barley in direct rice cultivation in Ahwaz. Applied Field Crop Research 90: 83-92. (in Persian with English abstract).
25. Peng, S., Khush, G. S., Virk, P., Tang, Q., and Zou, Y. 2009. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. Field Crops Research 108: 32-38.
26. Peng, S. 2000. Single-leaf and canopy photosynthesis of rice. Studies Plant Science 7: 213-228.
27. Normile, D. 2008. Reinventing rice to feed the world. Science 321: 330-333.
28. Purcell, L. C., Rosalind A., Ball, J. D., Reaper, I., and Vories E. D. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. Crop science 42: 172-177.
29. Rosati, A., Metcalf, S. G., and Lampinen, B. D. 2004. A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. Annals of Botany 93: 567-574.
30. Saitoh, K., Shimoda, H., and Ishihara, K. 1990. Characteristics of dry matter production process in high yielding rice varieties. I. Canopy structure and light intercepting characteristics. Japanese Journal of Crop Science 51: 130-139.

31. San-oh, Y., Tomizawa, Y., Mano, Y., Ookawa, T., and Hirasawa, T. 2002. Characteristics of dry matter production in rice plants, cultivar Takanari, sown directly in submerged paddy field compared with conventionally transplanted plants. Japanese Journal of Crop Science 71: 317-327.
32. San-oh, Y., Oclarit, P., Ookawa, T., Motobayashi, T., and Hirasawa, T. 2006. Effects of planting pattern on the interception of solar radiation by the canopy and the light extinction coefficient of the canopy in rice plants direct-sown in a submerged paddy field. plant production science 9 (3): 334-342.
33. Sinclair, T. R. 2006. A reminder of the limitations of using Beer, s Law to estimate daily radiation interception by vegetation. Crop Science 46: 2343-2347.
34. Sinclair, T. R., and T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. Crop Science 29: 90-98.
35. Sinclair, T. R., and Muchow, C. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy 35: 215-265.
36. Stewart, D. W., Costa, C., Dwyer, L. M., Smith, D. L., Hamilton, R. I., and Ma, B. L. 2003. Canopy structure, light interception, and photosynthesis in maize. Agronomy Journal 95: 1465-1474.
37. Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research 71: 17-29.
38. Vargas, L. A., Andersen, M. N., Jensen, C. R., and Orgenses, V. J. 2002. Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of *Miscanthus sinensis* ‘Goliath’ from radiation measurements. Biomass and Bioenergy 22: 1-14.
39. Wang, Q., Zhang, Q., Fan, D., and Lu, C. 2006. Photosynthetic light and CO_2 utilization and C_4 traits of two novel super-rice hybrids. Journal of Plant Physiology 163: 529-537.
40. Wang, D., M. R. Laza, K. G. Cassman, J. L. Huang, L. X., and Nie, X. X. 2016. Temperature explains the yield difference of double-season rice between tropical and subtropical environments. Field Crops Research 198: 303-311.
41. Wu, X. 2009. Prospects of developing hybrid rice with super high yield. Agronomy Journal 101: 688-695.
42. Xu, Y. F., Ookawa, T., and Ishihara, K. 1997. Analysis of the dry matter production process and yield formation of the highyielding rice cultivar Takanari, from 1991 to 1994. Japanese Journal of Crop Science 66: 42-50.
43. Zhang, L., Vanderwerf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., and Spiertz, J. H. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research 107: 29-42.
44. Zhang, Y., Tang, Q., Zou, Y., Li, D., Qin, J., Yang, Sh., Chen, L., Xia, B. and Peng, P. 2009. Yield potential and radiation use efficiency of ‘‘super’’ hybrid rice grown under subtropical conditions. Field Crops Research 114: 91-98.
45. Zeng, L., and Shanon, M. 2000. Effects of salinity on grain yield and yield components of rice at different seeding densities. Agronomy Journal 92: 418-423.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 2, Summer. 2020, p. 225-239

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص. ۲۳۹-۲۲۵

Effect of Seeding Density on Radiation Absorption and Use Efficiency of Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes under Direct Seeding Conditions

F. Pouramir[1], B. Yaghoubi[2], Y. Alizadeh[3*]

Received: 07-02-2020
Accepted: 15-04-2020

Introduction: Effective use of sunlight is a great opportunity to improve crop productivity. In conditions without growth limiting factors, there is a linear relationship between radiation absorption and dry matter production in plants, that the slope of this relationship is radiation use efficiency. In addition to genotyping, radiation use efficiency is affected by crop management. Changes in density of rice varieties by affecting leaf area index and light extinction coefficient change the amount of absorption and distribution of light within the canopy and thus affect dry matter production. Therefore, the response of different rice cultivars to change in density is not same. According to this, the present study was carried out to investigate the radiation absorption and efficiency of use and also determine the light extinction coefficient in new and old rice cultivars at different direct seeding densities in Rasht climatic conditions.

Material and Methods: The present experiment was carried out as a factorial based on randomized complete block design with three replications at research field of Rice Research Institute of Iran-Rasht. Treatments included five levels of densities (65, 80, 95, 110, and 125 kg ha^{-1}) and three levels of cultivar (Taher (promising line), Anam and Hashemi). Sampling was performed once every two weeks, 25 days after emergence. Sampling was performed with 0.5×0.5 m quadrates to measure leaf area, dry weight, and radiation in different treatments.

Results and Discussion: The results showed that the interaction effect of cultivar and density on radiation use efficiency, LAI, grain and biological yield were significant. Harvest index was affected only by density and light extinction coefficient was not affected by any density and cultivar treatments. The highest grain yield of Taher (6380 kg ha^{-1}) and Anam cultivars (6100 kg ha^{-1}) were obtained in 95 kg ha^{-1} density, while the highest yield of Hashemi cultivar (5490 kg.ha^{-1}) was observed in 110 kg ha^{-1} density. Grain yield followed biological yield, and treatments with higher biological yield had higher grain yield. The highest leaf area index (5.63) was observed in Hashemi cultivar and 110 kg ha^{-1} density in 70 days after emergence. At this stage, the lowest leaf area index (4.21) was observed in Taher cultivar at 65 kg ha^{-1} density. Although, in the early stages of growth, higher densities had a higher rate of leaf area expansion, but the highest leaf area index did not differ significantly between 95, 110, and 125 kg ha^{-1} densities. The light extinction coefficient of this experiment varied from 0.4 to 0.5 in different cultivars and densities and Taher cultivar had the higher light extinction coefficient. Although, no significant difference was observed between treatments. The highest grain yield of Taher (6380 kg ha^{-1}) and Anam (6100 kg ha^{-1}) cultivars were obtained in 95 kg ha^{-1} density, but the highest yield of Hashemi (5490 kg ha^{-1}) was obtained in 110 kg ha^{-1}. In this study, the highest (3.06 g MJ^{-1} PAR) and the lowest (2.20 g MJ^{-1} PAR) radiation use efficiency were observed at 95 and 125 kg ha^{-1} of Taher cultivar, respectively. In all cultivars, the lowest radiation use efficiency was observed at density of 125 kg ha^{-1}. Anam and Taher cultivars had the highest radiation absorption (773 and 852 MJ^{-1} PAR, respectively) during the growing season at 95 kg ha^{-1}. Although, the highest radiation absorption of Hashemi (880 MJ^{-1} PAR) cultivar was obtained at 110 kg ha^{-1} density.

Conclusions: The results showed that Taher cultivar had the highest grain and biological yield compared to Anam and Hashemi cultivars. Based on yield, the best density was 95 kg ha^{-1} for Anam and Taher cultivars and 110 kg ha^{-1} for Hashemi cultivar. Increasing the density of rice cultivars to the optimum level increased the radiation absorption and use efficiency. There was a positive correlation between radiation absorption and efficiency with biological and grain yield of rice cultivars.

Keywords: Hashemi cultivar, Leaf area index, Light extinction coefficient, Shading

1- Assistant professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
2- Associate professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran
(*- Corresponding Author Email: y.alizadeh@ilam.ac.ir)